



## La ligne émergente de COMPLIS

J. Arianer

### ► To cite this version:

| J. Arianer. La ligne émergente de COMPLIS. 2001, pp.31. in2p3-00010716

**HAL Id: in2p3-00010716**

**<https://hal.in2p3.fr/in2p3-00010716>**

Submitted on 19 Dec 2001

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# institut de physique nucléaire

CNRS - INP3 UNIVERSITÉ PARIS - SUD

I.P.N. - 91406 ORSAY CEDEX



DECEMBRE 2001

**IPNO-01-012**

La ligne émergente de COMPLIS

J. ARIANER

***Résumé :***

La ligne de transport d'ions produits par photo-ionisation résonante dans le dispositif expérimental COMPLIS du CERN est décrite et analysée. La focalisation en temps et la résolution sont étudiées en fonction des potentiels appliqués au point de production grâce à un code de calcul itératif spécialement adapté.

***Abstract:***

Ions created by resonant photo-ionization are transported by a special beam line in the CERN-COMPLIS experiment. Time bunching and mass resolution are studied with a devoted code versus the applied potentials near the production location.

Key words : photo-ionization- beam transport- ion sources- ion beams

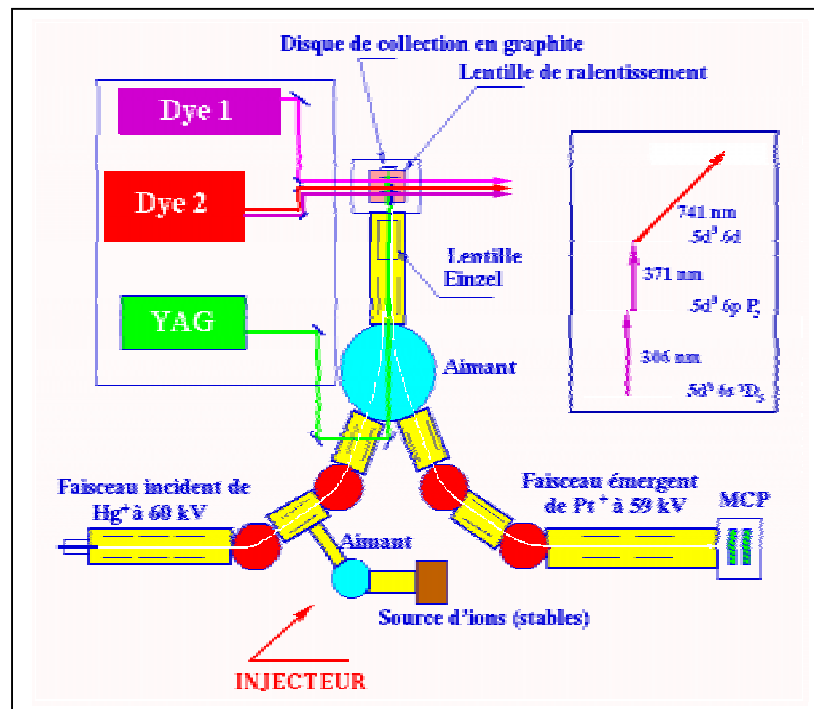
# LA LIGNE EMERGENTE DE COMPLIS.

Le bunching et l'extraction  
péristaltique des photo-ions.

*J.ARIANER*  
*Juillet 2001*

## INTRODUCTION.

L'ensemble expérimental COMPLIS installé au CERN [J.Arianer.Note SFEC T-41,1989] est dédié à la photo-ionisation résonante d'atomes à faible abondance. Ceux-ci sont implantés dans une cible, avec d'autres isobares, à faible énergie, au moyen d'une ligne de transport dite « incidente ». Désorbés au moyen d'un tir laser bref issu d'un YAG, puis photo-ionisés et accélérés, ils sont envoyés sur un système de détection au moyen d'une ligne dite « émergente ».



Ce dispositif est original à maints égards. Le faisceau incident contenant les atomes d'intérêt franchit la ligne incidente à 60keV, où il est faiblement épuré par un aimant à pôles ronds déviant de 22°, puis décéléré à quelques centaines d'eV dans une géométrie de ralentissement –accélération (GRA). Cette décélération le fait converger sur une cible où il s'incruste.

Le tir laser YAG à quelques  $10^6 \text{ W/cm}^2$ , normal à la cible et de quelques ns de durée fait désorber un échantillon de cet implant, sous forme d'une plume directive à vitesse subthermique. Celle-ci est composite.

La photo-ionisation résonante permet d'ioniser sélectivement un type d'atomes donné, dans la plume, au moyen de deux transitions induites par des lasers à colorants. Un premier problème émane du flux laser YAG qui produit aussi des ions parasites isobares et des ions légers de gaz occlus. Pour l'ensemble des ions produits, le potentiel distribué dans la GRA est accélérateur, il repartent donc dans un tronçon de ligne commun dont les éléments optiques ont été calculés pour assumer les incidence et émergence correctes. L'aimant épure les ions légers. Derrière lui, la ligne émergente se continue jusqu'à être colinéaire avec la ligne incidente.

Les objectifs à atteindre sont ambitieux :

- des transports sans pertes
- une résolution en masse maximale
- une implantation ponctuelle pour augmenter l'efficacité de production des photo-ions
- un regroupement en temps au point de détection des photo-ions produits en des lieux différents dans la plume (time bunching)
- une dispersion en vitesse longitudinale aussi faible que possible
- une taille de faisceau centimétrique au point de détection

Dernièrement, la pollution des isobares ionisés créés par le YAG s'est avérée problématique au point qu'il faille l'éliminer.

Les trois dernières conditions sont quasiment incompatibles. On sait qu'un faisceau possède un hypervolume d'émittance -englobant les variables canoniques de toutes ses particules constitutives  $x, y, z, p_x, p_y, p_z$ - démontré incompressible et figé à une valeur déterminée au point source.

La dimension transverse limitée au cm impose une condition sur  $x$  et  $y$ ,  $z$  étant sur l'axe de propagation. Le regroupement en temps impose  $\Delta z$  minimal pour un paquet de faisceau et une faible dispersion impose  $\Delta p_z$  minimal. Ces quatre variables étant comprimées, on pourrait penser qu'il suffit de libérer  $p_x$  et  $p_y$  pour ne pas compresser l'hypervolume. De fait, ces deux moments sont liés à  $p_z$  par l'énergie totale et ne peuvent pas prendre n'importe quelle valeur.

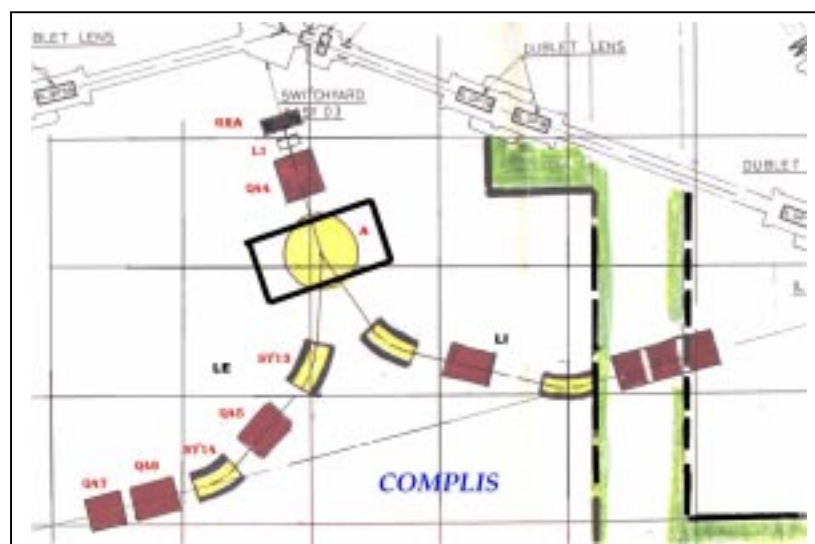
Les physiciens des accélérateurs sont souvent confrontés à cette problématique et ils ont trouvé deux moyens pour la résoudre : réduire l'émittance au lieu de création des particules ou « refroidir » le faisceau le long du transport.

Dans notre cas, seule la première solution est envisageable.

Dans ce rapport, nous allons revenir brièvement sur la conception de COMPLIS, sur les méthodes de calcul du transport et décrire les solutions choisies pour approcher les objectifs.

## 1-DESCRIPTION DE COMPLIS.

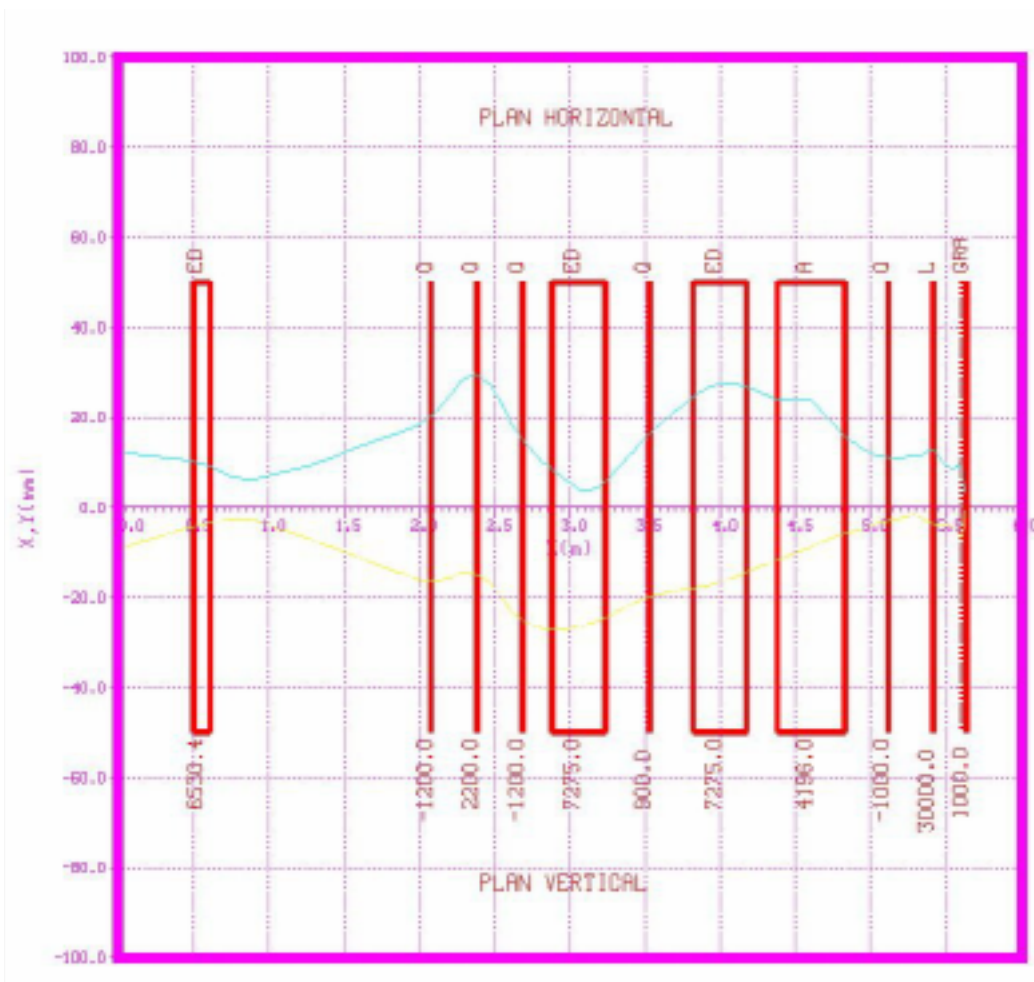
Le dispositif original de COMPLIS a été installé auprès d'IOLDE3 avec des éléments optiques en grande partie récupérés ou inspirés de réalisations précédentes [J.Arianer & J.Gosnet.Note SFEC-T34,1986].



La justification de l'agencement des lignes utilisé et les résultats des transports ont fait l'objet de notes précédentes. Résumons les caractéristiques fondamentales.

La ligne incidente comprend, dans le sens du faisceau :

- un triplet de quadrupoles électrostatiques (ils le sont tous)
- un inflecteur électrostatique à indice variable
- un singulet
- un inflecteur identique au précédent
- un aimant
- un singulet
- une lentille unipotentielle
- la GRA

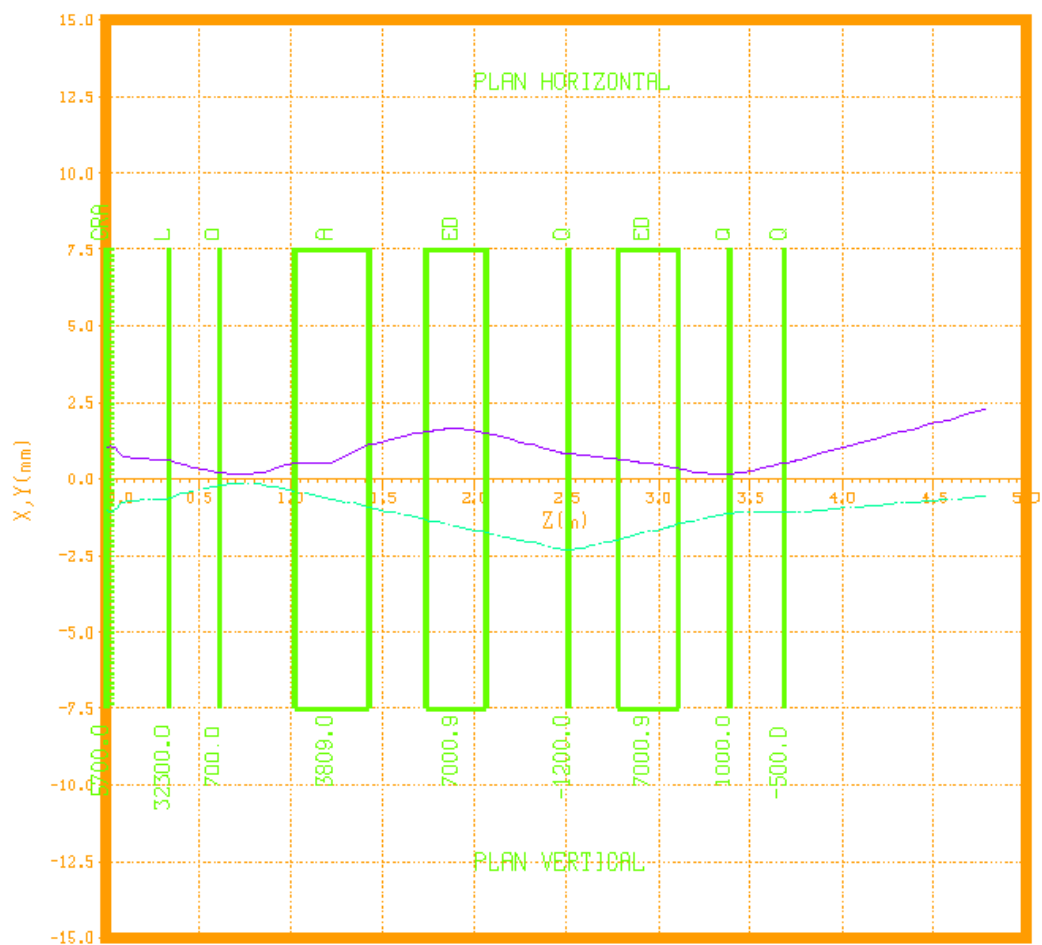


*Ligne incidente*

La ligne émergente comprend les mêmes éléments dans l'ordre inverse, au triplet près remplacé par un doublet juste avant le système de détection.

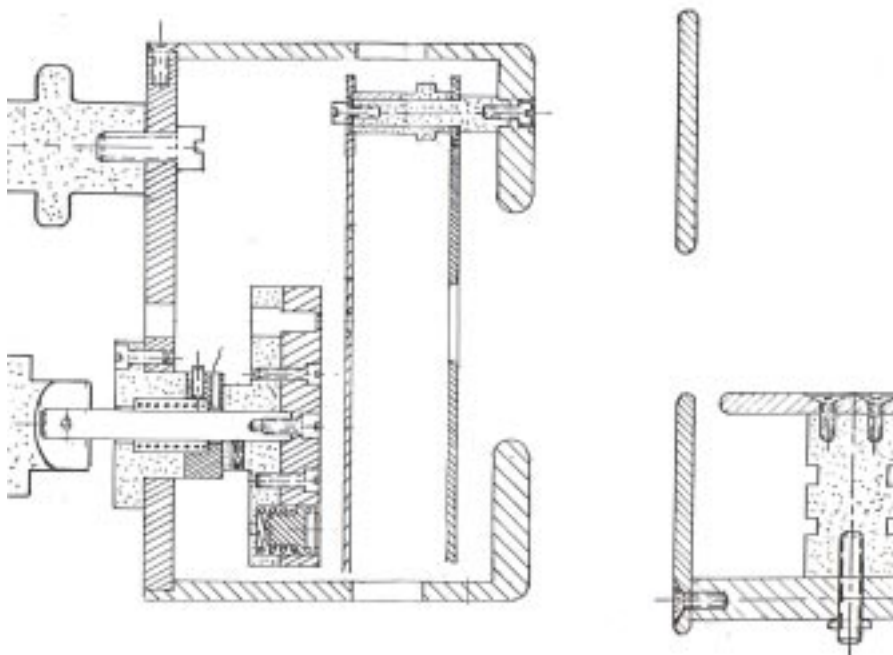
Ces deux figures montrent que le faisceau est transmis sans pertes dans les deux lignes, l'endroit le plus critique étant dans la ligne incidente au niveau du deuxième inflecteur dans le plan horizontal, de gap 75mm.

Ces calculs ont été faits avec le programme ISOL dont la logique est semblable à celle des programmes décrits dans le rapport IPNO 01-003.

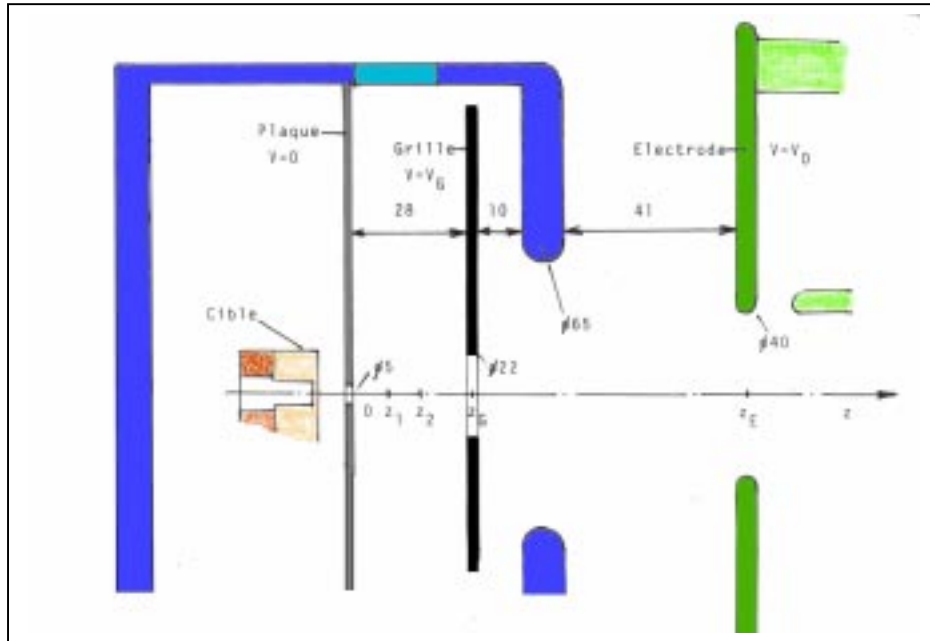


*Ligne émergente*

Le dispositif essentiel de COMPLIS est la géométrie de ralentissement et d'accélération.

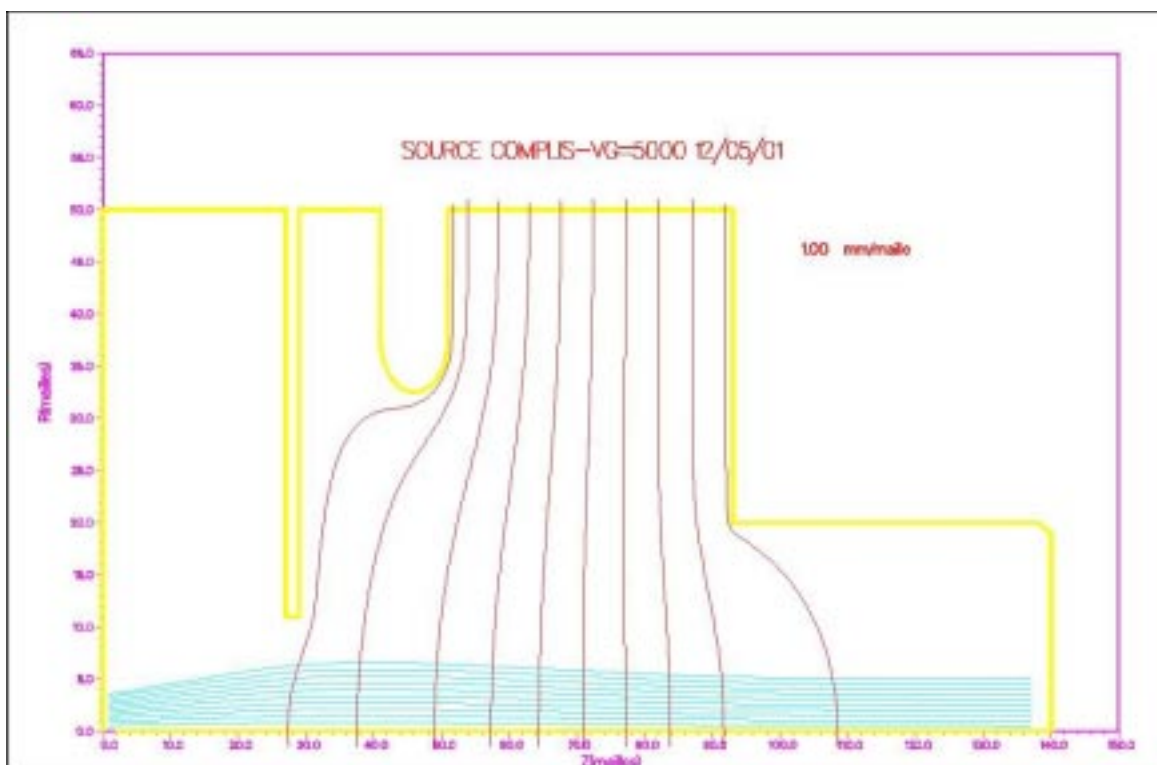






Les potentiels de la figure sont ceux rencontrés par les photo-ions produits dans la zone  $z_1$ - $z_2$  (4 et 9mm par rapport à la plaque). Dans la réalité, l'électrode d'extraction, à  $z_E$ , est à la Terre. Les ions incidents arrivent à 60keV, la cible et la plaque sont à 58,24 kV pour avoir une implantation dans la cible efficace.

La grille est à polarisation variable par rapport à la plaque. Nous verrons par la suite que son potentiel joue un rôle majeur dans le bunching des photo-ions, c'est d'ailleurs la raison pour laquelle elle a été installée.

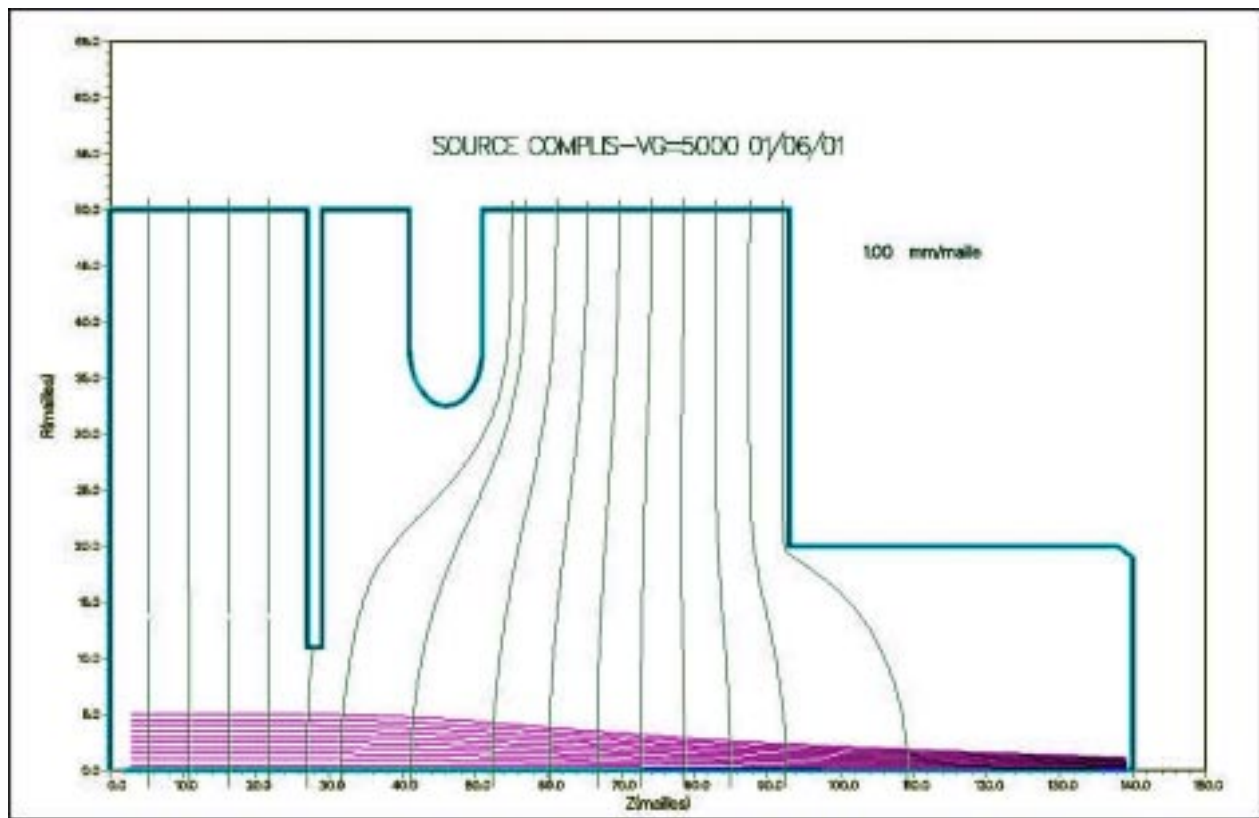


La figure ci-dessus montre la focalisation importante subie par le faisceau incident (venant ici de la droite), calculée au moyen d'EGUN. La tache sur la cible fait environ 5mm dans ce cas, mais l'implantation peut-être plus ponctuelle selon le potentiel de grille.

La figure suivante montre le comportement des photo-ions créés près de la cible.

Une étude systématique de leurs comportements en fonction des conditions de départ et pour des tensions grille variables avec EGUN est trop lourde, d'autant que ce code ne permet pas de traiter la suite du transport dans la ligne émergente. Il nous est apparu, dans ce problème atypique où, a priori, la densité de plasma est suffisamment faible pour ne pas influencer sur les potentiels appliqués, qu'il était nécessaire de faire un code de calcul approprié, permettant de calculer des temps de vol avec des tensions grille éventuellement variables avec le temps.

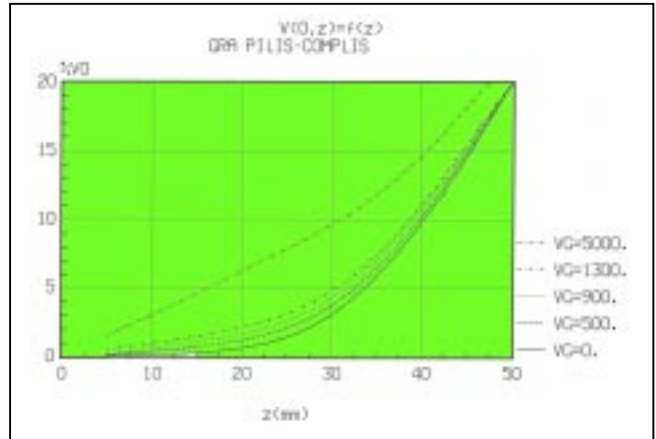
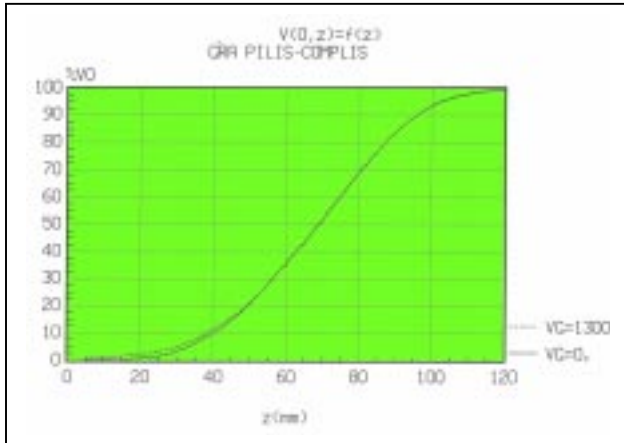
Le regroupement en temps par polarisation variable de la grille a fait l'objet de la note SFEC T-42 précitée. Cette méthode est maintenant universellement employée [I.G.Brown. RSI 67-3 (1996) 956. Y.Shirakabe et al. NIM A337 (1993) 11] : c'est l'extraction péristaltique.



## 2-LES METHODES DE CALCUL. LES SOLUTIONS.

La première difficulté est de trouver une forme simple de l'expression du potentiel en tous points de la GRA quel que soit le potentiel de grille  $V_G$ .

Nous avons, avec EGUN, déterminé  $V(0,z)$  pour quelques valeurs de  $V_G$  et établit quatre expressions analytiques valables dans quatre zones successives de  $z$ , représentant le potentiel axial exprimé en fonction de  $V_G$ , avec une précision  $< 1\%$ .



En appelant  $V_0$ , la tension de la GRA et  $V = V(0,z)$ , ces expressions sont :

$$0 < z \leq 2.10^2$$

$$V = (5.92 \cdot 10^{-2} V_G + 25) z V_0 / 100$$

$$2.10^2 < z \leq 5.10^2$$

$$V = [(-2.56 V_G + 2.02 \cdot 10^4) z^2 + (0.138 V_G - 765) z - 4.94 \cdot 10^{-4} V_G + 7.75] V_0 / 100$$

$$5.10^2 < z \leq 7.5 \cdot 10^2$$

$$V = 1. + \text{th}[36(z - 6.95 \cdot 10^{-2})] V_0 / 2$$

$$7.5 \cdot 10^2 < z \leq 0.135$$

$$V = 1. + \text{th}[45(z - 7.1 \cdot 10^{-2})] V_0 / 2$$

$$z > 0.135$$

$$V = V_0$$

En employant les formules suivantes, on connaît le potentiel et les champs électriques en tous points proches de l'axe :

$$V_{(r,z)} = V_{(0,z)} - \frac{r^2}{4} \frac{d^2 V_{(0,z)}}{dz^2}$$

$$E_r = -\frac{\partial V}{\partial r} = \frac{r}{2} \frac{d^2 V_{(0,z)}}{dz^2}$$

$$E_z = -\frac{\partial V}{\partial z} = \frac{dV_{(0,z)}}{dz}$$

En employant une méthode de Runge-Kutta du 4<sup>e</sup> ordre, on peut intégrer les équations du mouvement par un processus itératif.

Le traitement des autres éléments de ligne se fait comme dans la note IPNO 01-003. Le code de calcul CPLT permet de calculer les temps de vol et les vitesses longitudinales de macro-particules de masse quelconque distribuées dans un espace des traces quelconque, partant à des abscisses et des temps quelconques dans la GRA.

Peut-on avoir une idée des résultats à attendre, à savoir la grille permet-elle un regroupement en temps?

En assimilant la variation du potentiel dans la GRA à 2 gradients successifs :

$$E_1 = \frac{V_G}{z_G} \text{ et } E_2 = \frac{V_0 - V_G}{z_E - z_G}$$

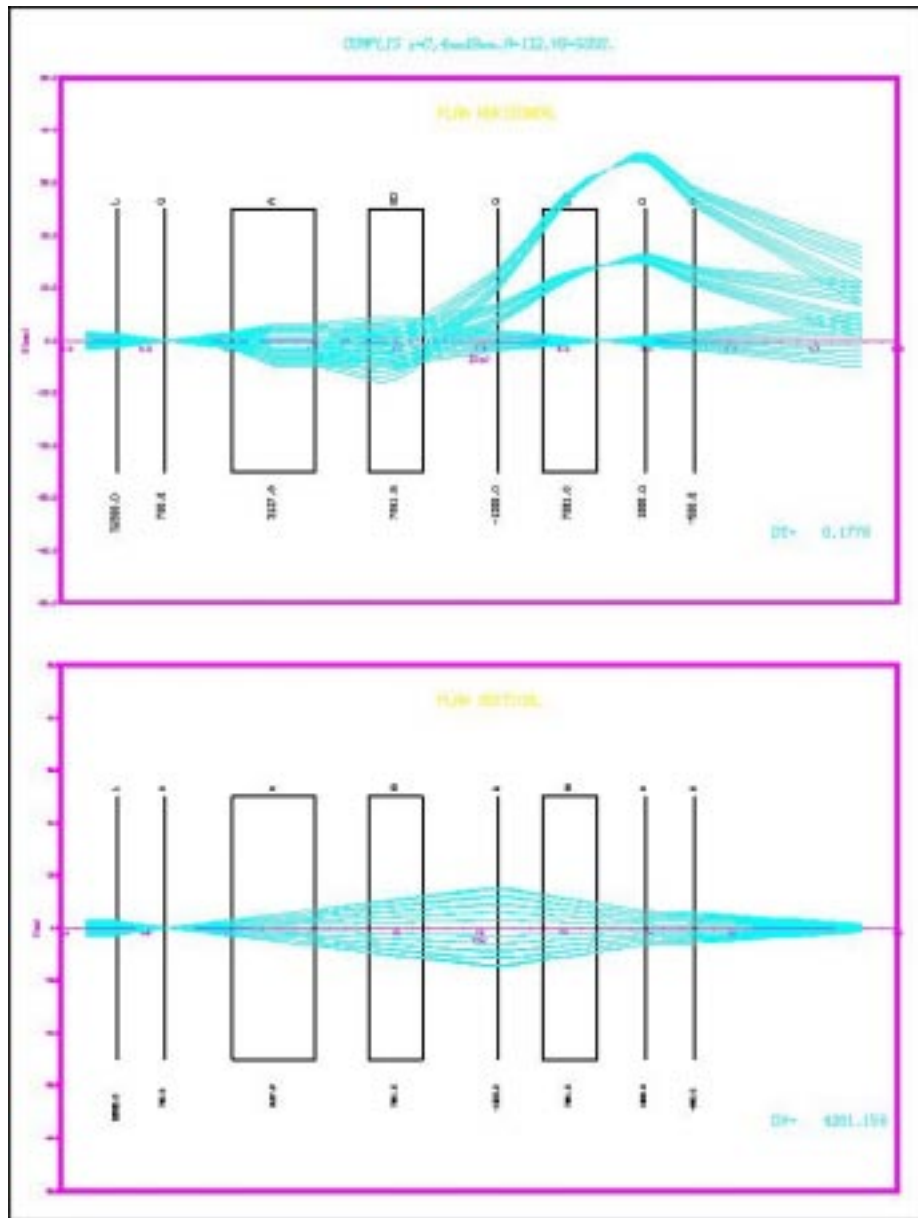
et en appelant  $z_R$  l'abscisse du point de regroupement, avec un peu de calcul cinématique, on trouve :

$z_R \approx 2 z_G \left\{ \frac{V_0 - V_G}{V_G} \right\}^{\frac{3}{2}}$  par exemple pour  $z_R = 4m$ , on trouve  $V_G = 3448V$ .

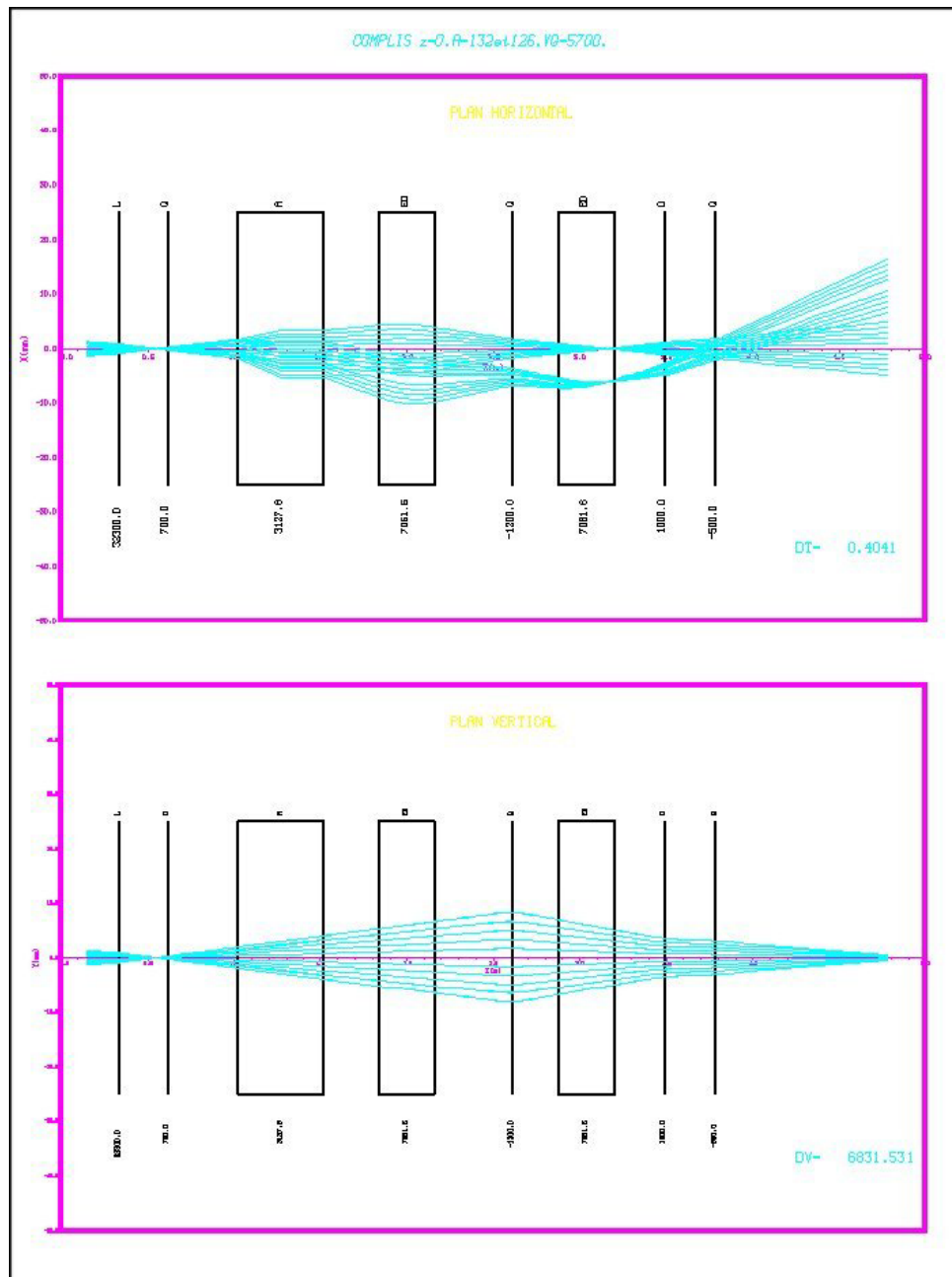
L'écart en temps de vol  $\Delta t$  vaut alors :

$$\Delta t = \frac{z_2 - z_1}{\sqrt{2\eta}} \left\{ \sqrt{\frac{z_G}{V_G(z_G - \frac{z_1 + z_2}{2})}} - \frac{z_R V_G}{2 V_0^{\frac{3}{2}} z_G} \right\}$$

Cette fonction continûment décroissante passe par 0 pour  $V_G = 3600V$  pour  $z_R = 4m$ , ce qui corrobore le résultat précédent. En-dessous de cette valeur, les particules partant de  $z_2$  arrivent les premières, au-dessus, ce sont celles venant de  $z_1$ , ce qui fait que  $\Delta t$  n'est jamais physiquement négatif. Dans tous les cas, la dispersion en vitesse longitudinale reste liée à la différence de potentiel initiale entre  $z_1$  et  $z_2$ , qui diminue avec  $V_G$ , donc on a intérêt à avoir  $z_R$  maximal.



La figure ci-dessus montre le comportement dans les 2 plans de macro-particules de masse 132 partant de  $z= 0, 4$  et  $9\text{mm}$  de la plaque, les éléments déviants étant réglés pour des particules à  $60\text{keV}$ . On constate, dans le plan horizontal, que les particules partant à  $z=0\text{mm}$  et qui n'ont donc que  $58,24\text{keV}$  sont quasiment sur l'axe. Par contre les particules partant à  $z= 9\text{mm}$  sont très déviées du fait qu'elles n'ont que  $57\text{keV}$ . L'écart en temps de vol pour  $V_G=5000\text{V}$  est de  $177\text{ns}$  et en vitesse de  $1281\text{m/s}$ .

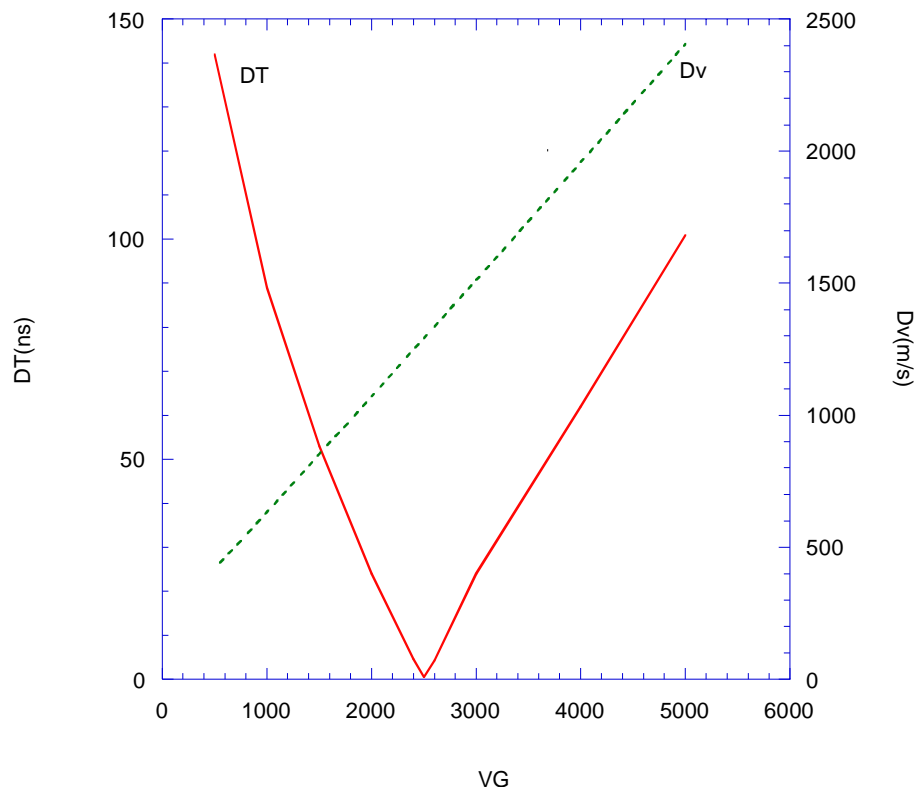


En prenant des macro-particules partant à  $z= 0$  mais de masse 132 et 126, malgré une très faible dispersion dans l'aimant, le fort grandissement du premier inflecteur permet d'avoir une bonne résolution. C'est un leurre car en considérant les 2 figures,

on voit que des particules de masse 126 partant à 4mm se mélangeront avec celles de masse 132 partant à 0mm.

Conclusion évidente : l'épaisseur en z de la zone d'interaction des lasers DYE doit être la plus petite possible.

En ce qui concerne la focalisation en temps, la figure ci-après montre le minimum attendu pour  $V_G = 2500V$  et que le produit  $\Delta T \cdot \Delta v$  symptématique de l'émittance longitudinale peut être minimisé : l'extraction péristaltique permet très élégamment d'optimiser une émittance par simple variation d'un paramètre électrique.

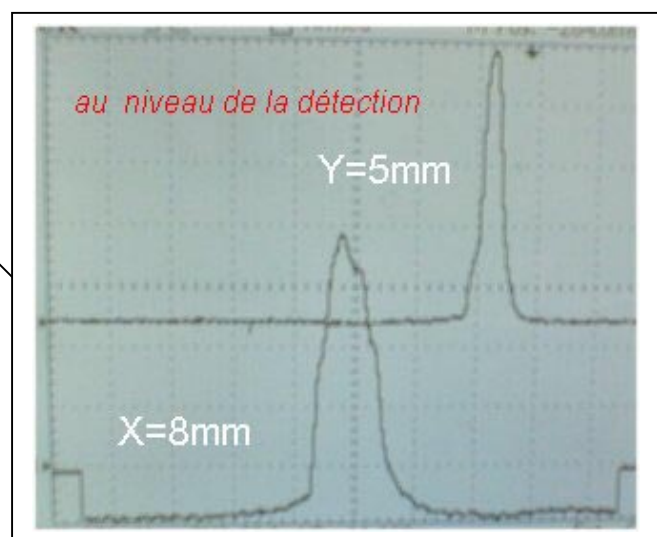
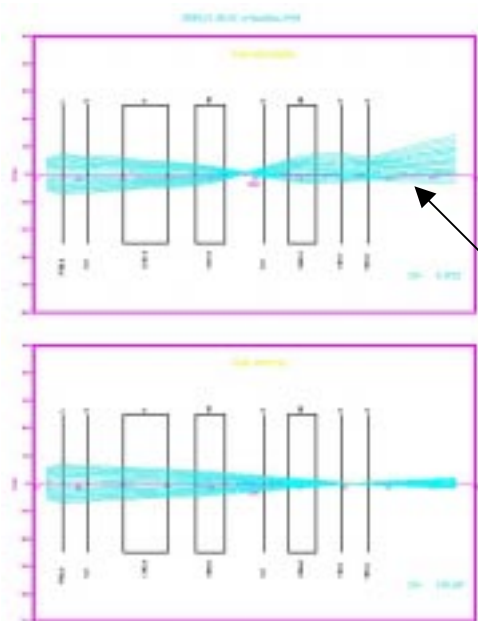
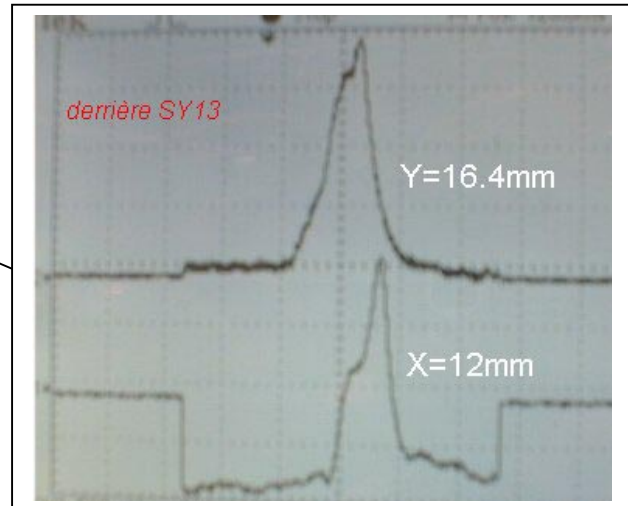
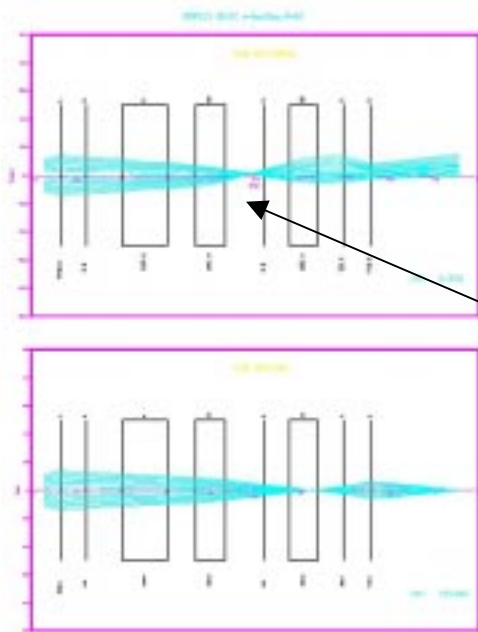


Une autre façon d'utiliser l'extraction péristaltique (c'est d'ailleurs la plus utilisée) est de pulser la tension grille. En l'annulant brutalement en cours de vol des photo-ions on peut, pour une tension grille imposée, changer la distance de regroupement ou  $\Delta T$  pour une distance imposée. Par exemple, pour  $V_G = 5000V$  pendant  $0.2\mu s$ ,  $\Delta T$  est ramené de 100 à 11ns, sans que cela affecte la dispersion en vitesse.

### 3-LA CONFRONTATION AVEC LES EXPERIENCES.

D'abord sur la validité du code. Les expériences de Juin 2001, prévues pour assainir l'alignement des éléments de la ligne émergente se sont faites avec un faisceau incident de krypton à 12600eV, réfléchi dans la GRA et réaccélééré à 12800eV dans la ligne émergente. Les figures suivantes montrent les résultats pratiques obtenus au moyen de profileurs placés entre les inflecteurs et au niveau de la détection.

Les résultats sont concordants, les dimensions observées sont légèrement plus grandes que celles calculées du fait de la méconnaissance de l'émittance d'un faisceau réfléchi et des 3 isotopes du krypton.



Ensuite, la focalisation en temps. Les utilisateurs de ce type d'extraction pour des sources sans plasma observent un comportement conforme aux calculs : il y a une tension grille optimale.

Dans le cas de COMPLIS, expérimentalement  $\Delta T$  décroît de façon monotone avec l'augmentation de  $V_G$ . Ce désaccord peut s'expliquer de différentes façons, l'une étant les hypothèses de départ, principalement du fait que la charge d'espace a été négligée et que la tension du terminal de source subit une charge brutale au moment de l'impulsion YAG qui l'écroute temporairement.



Une impulsion DYE de 10ns produisant  $10^6$  photo-ions correspond à un courant crête de  $16\mu\text{A}$ , ce qui peut sembler négligeable, mais à  $10^6\text{W/cm}^2$  l'énergie initiale  $V_i$  n'est que de quelques eV. Ce faisceau positif est le siège d'une bosse de potentiel entre son axe et le bord qui vaut :

$$\Delta V = \frac{2.037 \cdot 10^6 \cdot I \sqrt{M}}{\sqrt{V_i}}$$

soit 118V ! Ce qui veut dire que pour le même  $z$  initial, les particules partent avec une différence d'énergie de 118eV, les particules axiales étant les plus rapides.

Les calculs montrent que cela augmente  $\Delta T$  mais que  $V_G$  optimal reste inchangé :

Pour  $\Delta V = 100\text{V}$   $\Delta T = 14\text{ns}$  et pour 500V on passe à 70ns.

La même impulsion émanant du YAG produit instantanément environ  $10^{10}$  ions correspondant à un courant crête de plus de 100mA ! Conséquence : la chute ohmique dans la résistance de protection des alimentations haute-tension de grille et d'accélération perturbe le regroupement théorique. Une mesure de ces variations est nécessaire avant une simulation de l'effet.

Il sera difficile de trouver une parade, parce que cette résistance est obligatoire pour éviter la destruction de ces alimentations en cas de claquage. Ce problème est récurrent, toutes les sources d'ions basées sur des tirs de lasers de puissance sont confrontées à l'écroulement de la tension d'extraction. Les spécialistes préconisent d'utiliser un générateur de fonction permettant d'appliquer des impulsions de tensions qui contrecarrent cet écroulement.

#### 4-CONCLUSIONS.

Ce code constitue un moyen de prévision efficace. Le dessin actuel de COMPLIS permet d'atteindre la majorité des objectifs fixés. Il est clairement établi que la résolution est d'autant meilleure que la zone de photo-ionisation est limitée dans l'espace. S'il peut y avoir confusion de masses très voisines, elle peut être levée grâce à la différence des temps de vol et au regroupement en temps. L'amélioration de ce dernier, pour revenir au mode théorique, ne pourra se faire qu'après avoir examiné le comportement des tensions vitales pendant l'impulsion du laser YAG.



```

C      | ***** PROGRAMME COMPLIS *****
C      |
C      CE PROGRAMME ETUDIE LA FOCALISATION D'UN FAISCEAU D'IONS
C      PAR SON EMITTANCE DANS UN SYSTEME DE QUADRIPOLES, LENTILLES ELEC-
C      -TROSTATIQUES, ELEMENT A SECTEUR MAGNETIQUE,
C      DEVIATEURS ELECTROSTATIQUES ET GEOMETRIE DE
C      DECELERATION-ACCELERATION POUR COMPLIS AU CERN.
C      IL EST PUREMENT DEDIE A LA LIGNE EMERGENTE.
C      VERSION REVISEE D'ISOL EN COULEUR AVEC DISSPLA DU 01/03/01.
C      MODIFICATION D'APPEL DE LA VISU POUR UN TERMINAL X.
C
C
C      LA VERSION PRESENTE EST ADAPTEE AU CALCUL
C      DE TRAJECTOIRES ET DE LEUR TEMPS DE VOL.
C
C      -----
C
C      DIMENSION X(100),XP(100),Y(100),YP(100),U(6),VF(100),EC(2),
C      1XPLOT(500),YPLOT(500),ZPLOT(500),AC(2),BC(2),CC(2),DC(2),
C      2AA(4),B(4),C(4),CK(6),Q(6),TEMPS(100),AMASS(100),
C      3ETA(100),ZT(100),ZPT(100),ENERG(100),YPT(100),XPT(100),
C      4XDRAW(500,100),YDRAW(500,100)
C      REAL*8 X,Y,XP,YP,U,AA,B,C,Q,CK
C      COMMON/BLOC1/VF,DV
C      NAMELIST/DONNE/DT,NSYST,VA,KMAX,YMAXS,XMAXS,AMET,VGMAX,TG
C      CHARACTER*50 TITRE
C
C-----
C      DONNEES RUNGE-KUTTA.
C      METHODE D'INTEGRATION CLASSIQUE DONT LA PROGRAMMATION EST
C      TIREE DE TRIWHEEL, CODE MSU.
C-----
C      AA(1)=0.5
C      AA(2)=0.29289322
C      AA(3)=1.70710678
C      AA(4)=0.16666667
C      B(1)=2.
C      B(2)=1.
C      B(3)=1.
C      B(4)=2.
C      C(1)=0.5
C      C(2)=AA(2)
C      C(3)=AA(3)
C      C(4)=0.5
C      Q(1)=0.
C      Q(2)=0.
C      Q(3)=0.
C      Q(4)=0.
C      Q(5)=0.
C      Q(6)=0.
C-----
C      LE FICHIER DONNEES EST APPELE CP.DAT
C      LE FICHIER RETOUR EST CP.RET
C      LE PROGRAMME EST COMPILE ET LINKE PAR LA PROCEDURE
C      VOIR DISS, ON REPOND CPLT. PUIS ON DECLARE SON TYPE
C      DE CONSOLE, ON A LES RESULTATS GRAPHIQUES SUR L'ECRAN. ON
C      PEUT AUSSI DEMANDER UN METAFICHIER QUE L'ON PEUT IMPRIMER
C      DIRECTEMENT EN NOIR ET BLANC OU EN COULEUR EN SELECTIONNANT
C      SON TYPE D'IMPRIMANTE.
C-----

```

```

      OPEN(UNIT=8,FILE='CP.DAT',STATUS='OLD',
1ACCESS='SEQUENTIAL',FORM='FORMATTED')
      OPEN(UNIT=9,FILE='CP.RET',STATUS='OLD',
1ACCESS='SEQUENTIAL',FORM='FORMATTED')
      READ(8,998)TITRE
998  FORMAT(A50)
      READ(8,DONNE)
      READ(8,*),(X(I),Y(I),ZT(I),TEMPS(I),AMASS(I),I=1,KMAX)
C-----
C      LES KMAX/2 PREMIERES PARTICULES SONT DANS LE PLAN X'OX,
C      LES KMAX/2 DERNIERES PARTICULES SONT DANS LE PLAN Y'OY,
C      XP ET YP SONT EN RAD.
C-----
C      DONNEES DE CONFIGURATION DE DISSPLA
C      ++++++
C      YMAXS EST,EN MM,L'ORDONNEE MAX EN X,Y SUR LE DESSIN,
C      XMAXS EST,EN M, L'ABSCISSE MAX EN Z SUR LE DESSIN.
C-----
      CALL CHOIX_DEV(IDEV)
      CALL SETDEV(15,16)
      CALL NOBRDR
      CALL PAGE(30.,21.)
      CALL AREA2D(28.,18.)
      CALL XNAME('Z(m)$',100)
      CALL HEIGHT(0.2)
      CALL YAXANG(0.)
      CALL YNAME('X,Y(mm)$',100)
      CALL CROSS
      CALL SETCLR('GREEN')
      CALL XTICKS(5)
      CALL YTICKS(5)
      CALL GRAF(0.,0.5,XMAXS,-YMAXS,10.,YMAXS)
      CALL DASH
      CALL GRID(1,1)
      CALL THKFRM(0.1)
      CALL FRAME
      CALL RESET('DASH')
      CALL SETCLR('WHITE')
      CALL THKCRV(0.07)
      CALL ANGLE(90.)

      BC(1)=0.5*YMAXS
      BC(2)=-0.5*YMAXS
      DC(1)=BC(1)
      DC(2)=BC(1)
      EC(1)=BC(2)
      EC(2)=BC(2)
      LPRT=1
      KPRINT=9
      DZ=1.E-03
      VG=VGMAX

100  FORMAT( )
1000 FORMAT(35X,'*****')
C      ON DONNE UNE ENERGIE INITIALE SUIVANT Z DE 0.1eV
      NIJ=KMAX/2
      NEX=NIJ+1
      DO I=1,KMAX
      XP(I)=0.
      YP(I)=0.

```

```

XPT(I)=0.
YPT(I)=0.
ENERG(I)=VA*(1.-(5.92E-04*VG+0.25)*ZT(I))
ETA(I)=9.57883E+07/AMASS(I)
ZPT(I)=SQRT(2.*ETA(I)*0.1)
ENDDO

C-----
C      ON COMMENCE PAR LA GEOMETRIE D'ACCELERATION-DECELERATION.
C      LES EXPRESSIONS DU POTENTIEL EN TOUS POINTS ET SES DERIVEES SONT
C      ANALYTIQUES ET VALABLES POUR UNE CONFIGURATION DEFINIE.
C      SE REPORTER A LA NOTE SFEC T-42.
C-----

      ZMAX=0.15
C      ON EMPIETE DE 3cm SUR L'ESPACE LIBRE SUIVANT DE 0.109m POUR
C      AVOIR UN MEILLEUR CALCUL DE L'ENERGIE DE SORTIE.
      Z1=20.E-03
      Z2=50.E-03
      Z3=75.E-03
      ZG=30.E-03
      WRITE(9,1033) VGMAX
1033 FORMAT(/,3X,'GEOM. DECEL-ACCEL*****',3X,'VGRILLE=',F7.1,/)
      V0PER=VA/100.
      DO 201 I=1,KMAX
91      IF(ZT(I).GE.ZMAX) GOTO 201
      IF(TEMPS(I).GT.TG)VG=0.
      COF1=(5.92E-05*VG+2.5E-02)*1.E+03
      COF2=(-2.562E-06*VG+2.02E-02)*1.E+06
      COF3=(1.38E-04*VG-0.765)*1.E+03
      COF4=-4.94E-04*VG+7.75
      IF(ZT(I).GT.Z1)GO TO 92
      CEX=0.
      CEZ=COF1*V0PER
      GO TO 95
92      IF(ZT(I).GT.Z2)GO TO 93
      CEX=COF2*V0PER
C      LES TERMES EN X SONT DIVISES PAR 2--EX=-X/2*D2V/DZ2
      CEZ=V0PER*(2.*COF2*ZT(I)+COF3)
      GO TO 95
93      IF(ZT(I).GT.Z3)GO TO 94
      ARGU1=36.*(ZT(I)-69.5E-03)
      TAAT=TANH(ARGU1)
      CEZ=1800.*V0PER*(1.-TAAT**2)
      CEX=-36.*CEZ*TAAT
      GO TO 95
94      ARGU2=45.*(ZT(I)-71.E-03)
      TBBT=TANH(ARGU2)
      CEZ=2250.*V0PER*(1.-TBBT**2)
      CEX=-45.*CEZ*TBBT
95      CEY=CEX

C      INTEGRATION EN TEMPS SUR LES 3 COORDONNEES.
C      ATTENTION A DT QUI DOIT ETRE TRES PETIT.

      U(1)=X(I)
      U(2)=XPT(I)
      U(3)=Y(I)
      U(4)=YPT(I)
      U(5)=ZT(I)
      U(6)=ZPT(I)
      DO L=1,4

```

```

      CK(1)=DT*U(2)
      CK(2)=DT*CEX*ETA(I)*U(1)
      CK(3)=DT*U(4)
      CK(4)=DT*CEY*ETA(I)*U(3)
      CK(5)=DT*U(6)
      CK(6)=DT*CEZ*ETA(I)
      DO M=1,6
      TT=AA(L)*(CK(M)-B(L)*Q(M))
      U(M)=U(M)+TT
      Q(M)=Q(M)+3.*TT-C(L)*CK(M)
      ENDDO
      ENDDO
      X(I)=U(1)
      XPT(I)=U(2)
      Y(I)=U(3)
      YPT(I)=U(4)
      ZT(I)=U(5)
      ZPT(I)=U(6)
      TEMPS(I)=TEMPS(I)+DT
      GOTO 91
201  CONTINUE
      DO I=1,KMAX
      XP(I)=XPT(I)/ZPT(I)
      YP(I)=YPT(I)/ZPT(I)
      XDRAW(LPRT,I)=X(I)
      YDRAW(LPRT,I)=Y(I)
      ENDDO
      XMAX=ABS(X(1))
      YMAX=ABS(Y(NEX))
      DO K=1,NIJ
      IF(ABS(X(K)).GT.XMAX) XMAX=ABS(X(K))
      END DO
      DO K=NEX,KMAX
      IF(ABS(Y(K)).GT.YMAX) YMAX=ABS(Y(K))
      END DO
      KPRINT=KPRINT+1
      XXMAX=1000.*XMAX
      YYMAX=1000.*YMAX
      IF(XXMAX.GE.YMAXS.OR.YYMAX.GE.YMAXS) GO TO 999
C      XPLOT(LPRT)=XXMAX
C      YPLOT(LPRT)=YYMAX
      ZPLOT(LPRT)=ZMAX
      ZZ=1000.*ZMAX
      LPRT=LPRT+1
      WRITE(9,1025)ZZ,XXMAX,YYMAX
1025  FORMAT(3X,'Z=',F7.1,3X,'XMAX=',F5.1,3X,'YMAX=',F5.1)
      Z=ZMAX
      WRITE(9,1003)(I,X(I),XP(I),Y(I),YP(I),TEMPS(I),ENERG(I),I=1,KMAX)
      WRITE(9,1000)
1003  FORMAT(4X,'I=',I3,3X,'X=',F8.5,4X,'XP=',F8.5,4X,'Y=',F8.5,4X,
1      'YP=',F8.5,4X,'T=',E12.7,4X,'E=',E10.5)
      WRITE(9,1000)

C-----
C      ON PASSE A LA SUITE DE LA LIGNE.
C      TOUTES LES PARTICULES SONT AU MEME Z A DES TEMPS DIFFERENTS.
C      ON INTEGRE EN Z DORENAVANT.
C-----
666  JK=JK+1
      NFIN=NSYST+1
      IF(JK.EQ.NFIN) GO TO 999

```

```

      READ(8,*)ISYST
C-----
C      LE CODE 1 (ISYST=1) DEFINIT UN ESPACE LIBRE
C      LE CODE 2 (ISYST=2) DEFINIT UN QUADRIPOLE
C      LE CODE 3 (ISYST=3) DEFINIT UNE LENTILLE
C      LE CODE 4 (ISYST=4) DEFINIT UN SECTEUR MAGNETIQUE.
C      LE CODE 5 (ISYST=5) DEFINIT UN DEVIATEUR ELECTROSTATIQUE.
C-----

      WRITE(9,1004)(I,X(I),XP(I),Y(I),YP(I),TEMPS(I),I=1,KMAX)
      WRITE(9,1000)
1004  FORMAT(4X,'I=',I3,3X,'X=',F8.5,4X,'XP=',F8.5,4X,'Y=',F8.5,4X,
1      'YP=',F8.5,4X,'T=',E12.7)
      WRITE(9,1000)
      IF (ISYST.EQ.1) GO TO 1
      IF (ISYST.EQ.2) GO TO 2
      IF (ISYST.EQ.3) GO TO 3
      IF (ISYST.EQ.4) GO TO 4
      IF (ISYST.EQ.5) GO TO 5

C-----
C      ESPACE LIBRE DE LONGUEUR ZL.ON FAIT UNE APPLICATION
C      LINEAIRE.
C-----
      1  READ(8,*)ZL
      WRITE(9,1023)ZL
1023  FORMAT (/ ,3X,'ESPACE LIBRE*****', 'L=',E9.3,3X,/)
      WRITE(9,1000)
      DZL=ZL/10.
      DO KJ=1,10
      DO I=1,KMAX
      X(I)=X(I)+DZL*XP(I)
      Y(I)=Y(I)+DZL*YP(I)
      TEMPS(I)=TEMPS(I)+DZL/ZPT(I)
      XDRAW(LPRT,I)=X(I)
      YDRAW(LPRT,I)=Y(I)
      ENDDO
      XMAX=ABS(X(1))
      YMAX=ABS(Y(NEX))
      DO K=1,NIJ
      IF(ABS(X(K)).GT.XMAX) XMAX=ABS(X(K))
      END DO
      DO K=NEX,KMAX
      IF(ABS(Y(K)).GT.YMAX) YMAX=ABS(Y(K))
      END DO
      KPRINT=KPRINT+1
      Z=Z+DZL
      XXMAX=1000.*XMAX
      YYMAX=1000.*YMAX
      ZZ=1000.*Z
      IF(XXMAX.GT.YMAXS.OR.YYMAX.GT.YMAXS)GO TO 999
C      XPLOT(LPRT)=XXMAX
C      YPLOT(LPRT)=YYMAX
      ZPLOT(LPRT)=Z
      LPRT=LPRT+1
      WRITE(9,1025)ZZ,XXMAX,YYMAX
      ENDDO
      GO TO 666

```

```

C-----
C      QUADRUPOLE DE LONGUEUR ZL,DE TENSION SYMETRIQUE VE,DE RAYON
C      DE GORGE RHO, FOCALISANT EN X SI VE EST DE SIGNE +.
C      ON EXPRIME LE CHAMP RADIAL A PARTIR D'UNE EXPRESSION CLASSIQUE.
C      ON INTEGRE POINT PAR POINT.
C-----

```

```

2      READ(8,*)VE,RHO,ZL

      ZMAX=Z+ZL
      AC(1)=Z+ZL/2.
      AC(2)=AC(1)
            CALL CURVE(AC,BC,2,0)
            CALL RLMESS('Q',1,AC(1),0.52*YMAXS)
            CALL RLREAL(VE,1,AC(1),-0.7*YMAXS)
      CTE=VE/RHO**2
      RACCTE=SQRT(ABS(CTE/VA))
      WRITE(9,1024)RACCTE
1024  FORMAT(3X,'QUADRIPOLE*****',3X,'K=',E12.5,/)
      WRITE(9,1030)VE,RHO,ZL
1030  FORMAT(3X,'VE=',E9.3,3X,'RHO=',F5.3,3X,'L=',E9.3,/)
      WRITE(9,1000)
      CEX=-CTE
      CEY=CTE
      CEZ=0.

```

```

C-----
C                                     INTEGRATION PAR RUNGE-KUTTA
C-----

```

```

22 DO J=1,KMAX
      U(1)=X(J)
      U(2)=XP(J)
      U(3)=Y(J)
      U(4)=YP(J)
      DO L=1,4
        CK(1)=DZ*U(2)
        CK(2)=DZ*CEX*U(1)/ENERG(J)
        CK(3)=DZ*U(4)
        CK(4)=DZ*CEY*U(3)/ENERG(J)
C      LES TERMES EN CEX,CEY ET CEZ DOIVENT ETRE EXPRIMES AVEC
C      LA PLUS GRANDE CIRCONSPECTION.
        DO M=1,4
          TT=AA(L)*(CK(M)-B(L)*Q(M))
          U(M)=U(M)+TT
          Q(M)=Q(M)+3.*TT-C(L)*CK(M)
        END DO
      ENDDO
      X(J)=U(1)
      XP(J)=U(2)
      Y(J)=U(3)
      YP(J)=U(4)
      ZPT(J)=SQRT(2.*ENERG(J)*ETA(J)/(1.+XP(J)**2+YP(J)**2))
      TEMPS(J)=TEMPS(J)+DZ/ZPT(J)
      ENDDO
      XMAX=ABS(X(1))
      YMAX=ABS(Y(NEX))
      DO K=1,NIJ
        IF(ABS(X(K)).GT.XMAX) XMAX=ABS(X(K))
      END DO
      DO K=NEX,KMAX
        IF(ABS(Y(K)).GT.YMAX) YMAX=ABS(Y(K))

```

```

END DO
KPRINT=KPRINT+1
IF(MOD(KPRINT,10).NE.0) GO TO 21
DO I=1,KMAX
XDRAW(LPRT,I)=X(I)
YDRAW(LPRT,I)=Y(I)
ENDDO
XXMAX=1000.*XMAX
YYMAX=1000.*YMAX
ZZ=1000.*Z
IF(XXMAX.GE.YMAXS.OR.YYMAX.GE.YMAXS) GO TO 999
C-----
C      LES DONNEES SONT EN MKSA, MAIS LES IMPRESSIONS ET DESSINS
C      SONT FAITS AVEC DES DIMENSIONS TRANSVERSES EN MM.
C-----
C      XPLOT(LPRT)=XXMAX
C      YPLOT(LPRT)=YYMAX
      ZPLOT(LPRT)=Z
      LPRT=LPRT+1
      WRITE(9,1025)ZZ,XXMAX,YYMAX
21  IF(Z.GT.ZMAX) GO TO 666
      Z=Z+DZ
      GO TO 22

C-----
C      LENTILLE ELECTROSTATIQUE SIMPLE POLARISEE A VLENT, LES CHAMPS
C      SONT DEDUITS DE SPACHA A PARTIR D'UNE CARTE DE POTENTIELS
C      NORMALISES A 1 SUR L'AXE,COMPRENANT NN VALEURS ESPACEES
C      DE DV METRES.
C-----
3    READ(8,*)VLENT,DV,NN
      READ(8,*)(VF(I),I=1,NN)
      ZL=(NN-1)*DV
      ZMAX=Z+ZL
      DZ=1.E-03
      AC(1)=Z+ZL/2.
      AC(2)=Z+ZL/2.
           CALL CURVE(AC,BC,2,0)
           CALL RLMESS('L',1,AC(1),0.52*YMAXS)
           CALL RLREAL(VLENT,1,AC(1),-0.75*YMAXS)
      ZZL=1000.*ZL
      WRITE(9,1029)VLENT,ZZL
1029 FORMAT(/,3X,'LENTILLE ELECTR. *****',3X,'POLAR. CENT.=' ,
1F7.1,3X,'LONGUEUR=' ,F7.1,/)
      WRITE(9,1000)
      ZTART1=3.*DV
      ZTART2=(NN-1)*DV
      ZZREF=0.
81   CALL CHELE(VOZ,D1VOZ,D2VOZ,ZZREF)
      IF(ZZREF.LT.ZTART1.OR.ZZREF.GT.ZTART2) THEN
      CEX=0.
      CEY=0.
      CEZ=0.
      GO TO 31
      ELSE
      DDPLEN=VA-VLENT
      D1V=DDPLEN*D1VOZ
      D2V=DDPLEN*D2VOZ
      CEX=D2V/4.
      CEY=CEX

```

```

CEZ=-D1V/2.
ENDIF

```

```

C-----
C                                     INTEGRATION PAR RUNGE-KUTTA
C-----
31 DO J=1,KMAX
   U(1)=X(J)
   U(2)=XP(J)
   U(3)=Y(J)
   U(4)=YP(J)
   VAM=ENERG(J)-VOZ*DDPLEN
   DO L=1,4
      CK(1)=DZ*U(2)
      CK(2)=DZ*(CEX*U(1)-CEZ*U(2))/VAM
      CK(3)=DZ*U(4)
      CK(4)=DZ*(CEY*U(3)-CEZ*U(4))/VAM
C   LES TERMES EN CEX,CEY ET CEZ DOIVENT ETRE EXPRIMES AVEC
C   LA PLUS GRANDE CIRCONSCRIPTION.
      DO M=1,4
         TT=AA(L)*(CK(M)-B(L)*Q(M))
         U(M)=U(M)+TT
         Q(M)=Q(M)+3.*TT-C(L)*CK(M)
      END DO
   ENDDO
   X(J)=U(1)
   XP(J)=U(2)
   Y(J)=U(3)
   YP(J)=U(4)
   ZPT(J)=SQRT(2.*VAM*ETA(J)/(1.+XP(J)**2+YP(J)**2))
   TEMPS(J)=TEMPS(J)+DZ/ZPT(J)
   ENDDO
   XMAX=ABS(X(1))
   YMAX=ABS(Y(NEX))
   DO K=1,NIJ
      IF(ABS(X(K)).GT.XMAX) XMAX=ABS(X(K))
   END DO
   DO K=NEX,KMAX
      IF(ABS(Y(K)).GT.YMAX) YMAX=ABS(Y(K))
   END DO
   KPRINT=KPRINT+1
   IF(MOD(KPRINT,10).NE.0) GO TO 32
   DO I=1,KMAX
      XDRAW(LPRT,I)=X(I)
      YDRAW(LPRT,I)=Y(I)
   ENDDO
   XXMAX=1000.*XMAX
   YYMAX=1000.*YMAX
   ZZ=1000.*Z
   IF(XXMAX.GE.YMAXS.OR.YYMAX.GE.YMAXS) GO TO 999
C   XPLOT(LPRT)=XXMAX
C   YPLOT(LPRT)=YYMAX
   ZPLOT(LPRT)=Z
   LPRT=LPRT+1
   WRITE(9,1025)ZZ,XXMAX,YYMAX
32 IF(Z.GT.ZMAX) GO TO 666
   Z=Z+DZ
   ZZREF=ZZREF+DZ
   GO TO 81

```



```

C-----
C      FOCALISATION D'AIMANT AMENANT UNE DEVIATION PHI RD
C      AUTOUR DU RAYON RHO SUR UNE MASSE AMET A UNE ENERGIE DE 60keV.
C      LA MATRICE PRINCIPALE AGIT AU MILIEU DE L'AIMANT.
C-----

4      READ(8,*)PHI,RHO
      TRARAD=3.14159/180.
      PHI=PHI*TRARAD
      VITZ=SQRT(1.9161E+08*60000./AMET)
      BOZ=10.438E-09*VITZ*AMET/RHO
      DELZ=PHI*RHO
      CP=COS(PHI)
      SP=SIN(PHI)
C      CES COEFFICIENTS SONT POUR UN AIMANT SANS INDICE.
      A11=CP
      A12=RHO*SP
      A13=RHO*(1.-CP)
      A21=-SP/RHO
      A22=CP
      A23=SP
      AC(1)=Z
      AC(2)=Z
      CC(1)=Z
              CALL CURVE(AC,BC,2,0)
      WRITE(9,1032)BOZ
1032  FORMAT(3X,'FOCAL. AIMANT***',3X,'CHAMP=',E9.3,/)
      WRITE(9,1000)
      Z=Z+DELZ/2.
      DO I=1,KMAX
      TEMPS(I)=TEMPS(I)+DELZ/(2.*ZPT(I))
      DELTE=ENERG(I)-VA
      DELTM=(AMASS(I)-AMET)/(2.*AMET)
      Y(I)=Y(I)+YP(I)*DELZ/2.
      XI=A11*X(I)+A12*XP(I)+A13*(DELTE/(2.*VA)+DELTM)
      XP(I)=A21*X(I)+A22*XP(I)+A23*(DELTE/(2.*VA)+DELTM)
C      DELTA P/P=1/2 DELTA VA/VA+1/2 DELTA M/M
      X(I)=XI
      ZPT(J)=SQRT(2.*ENERG(J)*ETA(J)/(1.+XP(J)**2+YP(J)**2))
      END DO
      XMAX=ABS(X(1))
      YMAX=ABS(Y(NEX))
      DO K=1,NIJ
      IF(ABS(X(K)).GT.XMAX) XMAX=ABS(X(K))
      END DO
      DO K=NEX,KMAX
      IF(ABS(Y(K)).GT.YMAX) YMAX=ABS(Y(K))
      END DO
      DO I=1,KMAX
      XDRAW(LPRT,I)=X(I)
      YDRAW(LPRT,I)=Y(I)
      ENDDO
      XXMAX=1000.*XMAX
      YYMAX=1000.*YMAX
      ZZ=1000.*Z
      IF(XXMAX.GT.YMAXS.OR.YYMAX.GT.YMAXS)GO TO 999
C      XPLOT(LPRT)=XXMAX
C      YPLOT(LPRT)=YYMAX
      ZPLOT(LPRT)=Z
      LPRT=LPRT+1
      Z=Z+DELZ/2

```

```

DO I=1,KMAX
Y(I)=Y(I)+YP(I)*DELZ/2.
TEMPS(I)=TEMPS(I)+DELZ/(2.*ZPT(I))
ENDDO
AC(1)=Z
AC(2)=Z
CC(2)=Z
      CALL CURVE(AC,BC,2,0)
      CALL RLMESS('A',1,Z-DELZ/2.,0.52*YMAXS)
      CALL RLREAL(10000.*BOZ,1,Z-DELZ/2.,-0.7*YMAXS)
      CALL CURVE(CC,DC,2,0)
      CALL CURVE(CC,EC,2,0)
DO I=1,KMAX
XDRAW(LPRT,I)=X(I)
YDRAW(LPRT,I)=Y(I)
ENDDO
XMAX=ABS(X(1))
YMAX=ABS(Y(NEX))
DO K=1,NIJ
IF(ABS(X(K)).GT.XMAX) XMAX=ABS(X(K))
END DO
DO K=NEX,KMAX
IF(ABS(Y(K)).GT.YMAX) YMAX=ABS(Y(K))
END DO

XXMAX=1000.*XMAX
YYMAX=1000.*YMAX
ZZ=1000.*Z
IF(XXMAX.GT.YMAXS.OR.YYMAX.GT.YMAXS)GO TO 999
C   XPLOT(LPRT)=XXMAX
C   YPLOT(LPRT)=YYMAX
ZPLOT(LPRT)=Z
LPRT=LPRT+1
WRITE(9,1025)ZZ,XXMAX,YYMAX
GO TO 666

C-----
C   SECTEUR ELECTROSTATIQUE DE RAYON RAYO,D'ESPACE INTER-
C   ELECTRODES GAP,DE LONGUEUR ZL, DE RAYON D'ELECTRODE
C   TRANSVERSE RRO.POUR UN SECTEUR CYLINDRIQUE,FAIRE RRO=1.E+06.
C   SI LE SECTEUR EST TOROIDAL,RRO EST OBLIGATOIREMENT INFE-
C   RIEUR A RAYO/2.LES VALEURS DE POTENTIEL PLAQUE SONT CALCULEES
C   POUR UN SECTEUR CYLINDRIQUE.
C-----
5   READ(8,*)RAYO,GAP,ZL,RRO
      ZLD=1000.*ZL
      GAPI=1000.*GAP
      ERAYO=-2.*VA/RAYO
      RO=1000.*RAYO
      RRRO=1000.*RRO
      CCC=RAYO/RRO
      PHI=ZL/RAYO
      DEV=180.*PHI/3.14159
      DENOM=-1./(VA*RAYO**2)
      RAYE=RAYO+GAP/2.
      RE=1000.*RAYE
      RAYI=RAYO-GAP/2.
      RI=1000.*RAYI
      VI=-2.*VA*ALOG(RAYO/RAYI)
      VE=-2.*VA*ALOG(RAYO/RAYE)

```

```

        WRITE(9,1028)ERAYO,GAPI,ZLD,DEV
        WRITE(9,1031)RO,RRRO,RE,RI,VE,VI
1028  FORMAT(/,3X,'DEVIATEUR ELECTRIQUE*****',3X,'CHAMP=',E12.3
        1,3X,'ESPACE I.P.= ',F5.1,3X,'LONGUEUR=',F7.1,3X,'DEVIATION=',
        2F7.2,/)
1031  FORMAT(20X,'RO=',F7.1,3X,'ro=',F15.1,3X,'RE=',F7.1,3X,'RI=',
        1F7.1,3X,'VE=',F10.1,3X,'VI=',F10.1,/)
        WRITE(9,1000)
        ZMAX=Z+ZL
        AC(1)=Z
        AC(2)=Z
        CC(1)=Z
                CALL CURVE(AC,BC,2,0)
        AC(1)=ZMAX
        AC(2)=ZMAX
        CC(2)=ZMAX
                CALL CURVE(AC,BC,2,0)
                CALL CURVE(CC,DC,2,0)
                CALL CURVE(CC,EC,2,0)
                CALL RLMESS('ED',2,AC(1)-ZL/2.,0.52*YMAXS)
                CALL RLREAL(VE,1,AC(1)-ZL/2.,-0.7*YMAXS)
        CEX=-(2.-CCC)/RAYO**2
        CEY=-CCC/RAYO**2
        CEZ=0.

```

```

C-----
C                                INTEGRATION PAR RUNGE-KUTTA
C-----

```

```

52  DO J=1,KMAX
        U(1)=X(J)
        U(2)=XP(J)
        U(3)=Y(J)
        U(4)=YP(J)
        DELTE=(ENERG(J)-VA)*DENOM
        DO L=1,4
                CK(1)=DZ*U(2)
                CK(2)=DZ*(CEX*U(1)-CEZ*U(2)+DELTE)
                CK(3)=DZ*U(4)
                CK(4)=DZ*(CEY*U(3)-CEZ*U(4))
C      LES TERMES EN CEX,CEY ET CEZ DOIVENT ETRE EXPRIMES AVEC
C      LA PLUS GRANDE CIRCONSCRIPTION.
                DO M=1,4
                        TT=AA(L)*(CK(M)-B(L)*Q(M))
                        U(M)=U(M)+TT
                        Q(M)=Q(M)+3.*TT-C(L)*CK(M)
                END DO
        ENDDO
        X(J)=U(1)
        XP(J)=U(2)
        Y(J)=U(3)
        YP(J)=U(4)
        ZPT(J)=SQRT(2.*ENERG(J)*ETA(J)/(1.+XP(J)**2+YP(J)**2))
        TEMPS(J)=TEMPS(J)+DZ/ZPT(J)
        ENDDO
        XMAX=ABS(X(1))
        YMAX=ABS(Y(NEX))
        DO K=1,NIJ
                IF(ABS(X(K)).GT.XMAX) XMAX=ABS(X(K))
        END DO
        DO K=NEX,KMAX
                IF(ABS(Y(K)).GT.YMAX) YMAX=ABS(Y(K))

```

```

END DO
KPRINT=KPRINT+1
IF(MOD(KPRINT,10).NE.0) GO TO 51
DO I=1,KMAX
XDRAW(LPRT,I)=X(I)
YDRAW(LPRT,I)=Y(I)
ENDDO
XXMAX=1000.*XMAX
YYMAX=1000.*YMAX
ZZ=1000.*Z
IF(XXMAX.GE.YMAXS.OR.YYMAX.GE.YMAXS) GO TO 999
C   XPLOT(LPRT)=XXMAX
C   YPLOT(LPRT)=YYMAX
ZPLOT(LPRT)=Z
LPRT=LPRT+1
WRITE(9,1025)ZZ,XXMAX,YYMAX
51 IF(Z.GT.ZMAX) GO TO 666
Z=Z+DZ
GO TO 52

C-----
C   DONNEES DU DESSIN DISSPLA
C-----
999 LPRTMX=LPRT-2
      CALL SETCLR('RED')
      CALL RESET('THKCRV')
ZPMAX=ZPT(1)
ZPMIN=ZPT(1)
TMAX=TEMPS(1)
TMIN=TEMPS(1)
DO I=1,KMAX
IF(ZPT(I).GT.ZPMAX) ZPMAX=ZPT(I)
IF(ZPT(I).LT.ZPMIN) ZPMIN=ZPT(I)
IF(TEMPS(I).GT.TMAX) TMAX=TEMPS(I)
IF(TEMPS(I).LT.TMIN) TMIN=TEMPS(I)
ENDDO
DELTAT=1.E+06*(TMAX-TMIN)
DELTAZP=ZPMAX-ZPMIN
WRITE(9,1041) DELTAT,DELTAZP
1041 FORMAT(20X,'*****DT=',F10.5,'*****DV=',E12.5)
DO I=1,NIJ
DO J=1,LPRTMX
XPLOT(J)=1000.*XDRAW(J,I)
ENDDO
      CALL CURVE(ZPLOT,XPLOT,LPRTMX,0)
ENDDO
      CALL CHNDOT
      CALL SETCLR('WHITE')
DO I=NEX,KMAX
DO J=1,LPRTMX
YPLOT(J)=1000.*YDRAW(J,I)
ENDDO
      CALL CURVE(ZPLOT,YPLOT,LPRTMX,0)
ENDDO
      CALL RESET('ALL')
      CALL HEIGHT(0.3)
      CALL SETCLR('BLUE')
      CALL RLMESS('PLAN HORIZONTAL',15,0.45*XMAXS,0.85*YMAXS)
      CALL RLMESS('PLAN VERTICAL',13,0.45*XMAXS,-0.85*YMAXS)
      CALL SETCLR('RED')
      CALL RLMESS('DT=',3,0.85*XMAXS,-0.65*YMAXS)

```

```

        CALL RLREAL(DELTA T,4,0.9*XMAXS,-0.65*YMAXS)
        CALL RLMESS('DV=',3,0.85*XMAXS,-0.75*YMAXS)
        CALL RLREAL(DELTA ZP,4,0.9*XMAXS,-0.75*YMAXS)
        CALL BASALF('ITALIC')
        CALL HEADIN(TITRE,50,1.2,1)
        CALL ENDPL(0)
        CALL DONEPL
WRITE(9,1003)(I,X(I),XP(I),Y(I),YP(I),TEMPS(I),ENERG(I),I=1,KMAX)
CLOSE(8)
CLOSE(9)
END
C
C
C
        SUBROUTINE CHELE(VOZ,D1VOZ,D2VOZ,Z)
C-----
C      CE SOUS-PROGRAMME INTERPOLE LES VALEURS DES CHAMPS
C      ET CALCULE LES DERIVEES
C-----
        DIMENSION VF(100)
        COMMON/BLOC1/VF,DU
C-----
C      SITUATION DE LA PARTICULE.
C-----
14  ZZREF=Z
    IF (ZZREF-0.0001) 400,400,298
298 N=INT(ZZREF/DU)+1
299 IF(N-1) 301,300,301
300 N1=N
    N2=N+1
    N3=N+2
    N4=N+3
    N5=N+4
    U=ZZREF/DU
    GO TO 307
301 IF(N-2) 299,302,303
302 N1=N-1
    N2=N
    N3=N+1
    N4=N+2
    N5=N+3
    U=ZZREF/DU
    GO TO 307
303 IF(N-3) 299,304,304
304 N1=N-2
    N2=N-1
    N3=N
    N4=N+1
    N5=N+2
    U=ZZREF/DU-FLOAT(N-3)
C-----
C      CALCUL DES COEFFICIENTS DE NEWTON-GREGORY.
C-----
307 REMP1=U
    REMP2=REMP1*(U-1.)/2.
    REMP3=REMP2*(U-2.)/3.
    REMP4=REMP3*(U-3.)/4.
    SH1= 1.-REMP1+REMP2-REMP3+REMP4
    SH2= REMP1-2.*REMP2+3.*REMP3-4.*REMP4
    SH3= REMP2-3.*REMP3+6.*REMP4
    SH4= REMP3-4.*REMP4

```

```

      SEMP2=(2.*U-1.)/2.
      SEMP3=(3.*U**2-6.*U+2.)/6.
      SEMP4=(4.*U**3-18.*U**2+22.*U-6.)/24.
      CH1= -1.+SEMP2-SEMP3+SEMP4
      CH2= 1.-2.*SEMP2+3.*SEMP3-4.*SEMP4
      CH3= SEMP2-3.*SEMP3+6.*SEMP4
      CH4= SEMP3-4.*SEMP4
C-----
C      CALCUL DU POTENTIEL ET DES CHAMPS SUR L'AXE
C-----
      YH1=SH1*VF(N1)
      YH2=SH2*VF(N2)
      YH3=SH3*VF(N3)
      YH4=SH4*VF(N4)
      YH5=REMP4*VF(N5)
      VOZ=YH1+YH2+YH3+YH4+YH5
      ZH1=CH1*VF(N1)
      ZH2=CH2*VF(N2)
      ZH3=CH3*VF(N3)
      ZH4=CH4*VF(N4)
      ZH5=SEMP4*VF(N5)
      D1VOZ=(ZH1+ZH2+ZH3+ZH4+ZH5)/DU
      VEMP3=U-1.
      VEMP4=(12.*U**2-36.*U+22.)/24.
      DDH1=(1.-VEMP3+VEMP4)*VF(N1)
      DDH2=(-2.+3.*VEMP3-4.*VEMP4)*VF(N2)
      DDH3=(1.-3.*VEMP3+6.*VEMP4)*VF(N3)
      DDH4=(VEMP3-4.*VEMP4)*VF(N4)
      DDH5=VEMP4*VF(N5)
      D2VOZ=(DDH1+DDH2+DDH3+DDH4+DDH5)/DU**2
      GO TO 401
400 VOZ=VF(1)
      D1VOZ=0.
      D2VOZ=0.
C-----
C      EZ ET ER EXPRIMES ICI N'ONT NI LES SIGNES NI LES COEFFICIENTS
C      CORRECTS. VOIR LE PROGRAMME PRINCIPAL.
C-----
      401 RETURN
      END
C
C
C

      COMPLIS z=4mm&9mm.A=132.VG=2500.
      $DONNE
      DT=1.E-09,KMAX=40,VGMAX=2500.,VA=58240.,XMAXS=5.,
      YMAXS=50.,NSYST=17,AMET=132.,TG=0.3E-06
      $END
0.0002  0.0  0.004  0.0  132.
0.0004  0.0  0.004  0.0  132.
0.0006  0.0  0.004  0.0  132.
0.0008  0.0  0.004  0.0  132.
0.001   0.0  0.004  0.0  132.
-0.0002 0.0  0.004  0.0  132.
-0.0004 0.0  0.004  0.0  132.
-0.0006 0.0  0.004  0.0  132.
-0.0008 0.0  0.004  0.0  132.
-0.001  0.0  0.004  0.0  132.
0.0002  0.0  0.009  0.0  132.
0.0004  0.0  0.009  0.0  132.

```

0.0006	0.0	0.009	0.0	132.
0.0008	0.0	0.009	0.0	132.
0.001	0.0	0.009	0.0	132.
-0.0002	0.0	0.009	0.0	132.
-0.0004	0.0	0.009	0.0	132.
-0.0006	0.0	0.009	0.0	132.
-0.0008	0.0	0.009	0.0	132.
-0.001	0.0	0.009	0.0	132.
0.0	0.0002	0.004	0.0	132.
0.0	0.0004	0.004	0.0	132.
0.0	0.0006	0.004	0.0	132.
0.0	0.0008	0.004	0.0	132.
0.0	0.001	0.004	0.0	132.
0.0	-0.0002	0.004	0.0	132.
0.0	-0.0004	0.004	0.0	132.
0.0	-0.0006	0.004	0.0	132.
0.0	-0.0008	0.004	0.0	132.
0.0	-0.001	0.004	0.0	132.
0.0	0.0002	0.009	0.0	132.
0.0	0.0004	0.009	0.0	132.
0.0	0.0006	0.009	0.0	132.
0.0	0.0008	0.009	0.0	132.
0.0	0.001	0.009	0.0	132.
0.0	-0.0002	0.009	0.0	132.
0.0	-0.0004	0.009	0.0	132.
0.0	-0.0006	0.009	0.0	132.
0.0	-0.0008	0.009	0.0	132.
0.0	-0.001	0.009	0.0	132.

1

0.079

3

32300.,4.E-03,54

0.0009,0.0018,

0.0028,0.0144,0.0267,0.0407,0.0570,0.0766,0.1003,0.1292,0.1641,

0.2059,0.2548,0.3107,0.3728,0.4393,0.5078,0.5756,0.6401,0.6989,

0.7623,0.8040,0.8377,0.8638,0.8826,0.8949,0.9009,

0.9009,0.8949,0.8826,0.8638,0.8377,0.8040,0.7623,

0.6989,0.6401,0.5756,0.5078,0.4393,0.3728,0.3107,0.2548,0.2059,

0.1641,0.1292,0.1003,0.0766,0.0570,0.0407,0.0267,0.0144,0.0028

0.0018,0.0009

1

0.104

2

700.0,0.04,0.130

1

0.345

4

22.,1.3

1

0.315

5

0.6,.075,0.3246,1.E+06

1

0.36

2

-1200.0,0.055,0.175

1

0.18

5

0.6,0.075,0.3246,1.E+06

1

0.17  
2  
1000.0,0.055,0.225  
1  
0.1  
2  
-500.,0.055,0.175  
1  
1.



